

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNI
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh nejvhodnějšího nástroje pro frézování rovinných ploch

Draft the Best Tools for Face Milling

Vypracoval:

Jiří Šilar

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Šilar**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh nejvhodnějšího nástroje pro frézování rovinných ploch**
Draft the Best Tools for Face Milling
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Nástroje pro rovinné frézování.
3. Výběr vhodných fréz.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko - ekonomické zhodnocení.


Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího ročníkové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 9.5.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4. autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 9.5.2016

.....
podpis studenta

Anotace bakalářské práce

Šilar, J. *Návrh nejvhodnějšího nástroje pro frézování rovinných ploch: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 44 s, Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodné frézy pro obrábění rovinných ploch. Výběr frézy probíhal ve společnosti JCEE s.r.o. v Lanškrouně. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část představuje firmu a historii obrábění. Dále odvětví ve strojírenství a její druhy. Konec první části se zabývá obecnou problematikou frézování tj. stroje, nástroje, druhy frézování, druhy materiálů fréz. Praktická část řeší samotný výběr vhodné frézy s cílem dosažení požadovaného povrchu. Pro experiment byly k dispozici tři frézy. Testování probíhalo na stroji od firmy Hurco GmbH. Podle nejlepší drsnosti povrchu, ceny VBD a efektivity obrábění se vybrala nejvhodnější fréza.

Klíčová slova

Strojírenství, obrábění, frézování, VBD

Annotation of the bachelor's these

Šilar, J. *Draft the Best Tools for Face Milling.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Cutting and Assembly, 2016, 44 p., Thesis supervisor: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The bachelor's thesis deals with selection of appropriate milling tool for machining of flat surfaces. Selection took place at company JCEE s.r.o. in Lanškroun. Thesis is split to practical and theoretical parts. Theoretical part introduces the company and history of machining, branches and types of machining industries. The end of the first part deals with general issues of milling - machines, tools, milling categories, categories of milling tools materials. Practical part deals with the selection process itself with the aim of achievement of required surface. There were 3 milling tools available for the experiment. Testing was performed on machine be company Hurco GmbH. Milling tool was selected according to best surface roughness, price of VBD and efectivity of machining

Key words

Mechanical engineering, machining, milling, VBD

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc., za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat vedení společnosti JCEE s.r.o. a Ing. Pavlu Drimlovi za ochotu a poskytnutí informací při vypracování práce. V neposlední řadě děkuji svojí rodině za trpělivost a morální podporu.

V Ostravě 9.5.2016

.....
podpis studenta

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK	8
ÚVOD	8
1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU.....	10
1.1 HISTORIE OBRÁBĚNÍ.....	10
1.2 POPIS STROJÍRENSTVÍ.....	10
1.3 ODVĚTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ	11
1.4 ZÁKLADNÍ DRUHY OBRÁBĚNÍ	12
1.5 HISTORIE FRÉZOVÁNÍ	14
2. NÁSTROJE PRO ROVINNÉ FRÉZOVÁNÍ.....	18
2.1 PODSTATA METODY	18
2.2 FRÉZOVÁNÍ VÁLCOVÝMI FRÉZAMI	18
2.2.1 <i>Sousledné frézování</i>	18
2.2.2 <i>Nesousledné frézování</i>	19
2.3 FRÉZOVÁNÍ ČELNÍMI FRÉZAMI	20
2.4 ODVOZENÉ TYPY FRÉZOVÁNÍ	21
2.4.1 <i>Okružní frézování</i>	21
2.4.2 <i>Planetové frézování</i>	22
2.5 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	22
2.6 FRÉZOVACÍ STROJE	25
2.6.1 <i>Konzolové frézky</i>	26
2.6.2 <i>Stolové frézky</i>	27
2.6.3 <i>Rovinné frézky</i>	27
2.6.4 <i>Speciální frézky</i>	28
3. VÝBĚR VHODNÝCH FRÉZ	29
3.1 ZADÁNÍ PRÁCE.....	29
3.2 MATERIÁL VZORKU – OCEL 11 373	29
3.3 CNC STROJ HURCO VMX 50 PRO TESTOVÁNÍ FRÉZ	30
3.4 ZKOUŠENÍ FRÉZ	31
3.4.1 <i>Frézovací hlava č. 1 s VBD od firmy Pramet Tools</i>	31
3.4.2 <i>Frézovací hlava č. 2 s VBD od firmy Korloy</i>	32
3.4.3 <i>Frézovací hlava č. 3 s VBD od firmy Pramet Tools</i>	33
3.5 MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	34
4. DISKUZE EXPERIMENTŮ.....	35
5. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	39
SEZNAM OBRÁZKŮ	41
SEZNAM TABULEK	42
SEZNAM GRAFŮ	42
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

Seznam použitého značení a zkratk

v_f	velikost posuvu	[mm/min]
v_c	řezná rychlost	[m/min]
a_p	hloubka třísky	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
n	otáčky	[ot/min]
R_a	Střední aritmetická úchylka profilu	[μ m]
Z_{eff}	počet VBD	[-]
Z_h	počet řezných hran VBD	[-]
P	cena	[CZK]
P_c	cena celkem	[CZK]
CNC	Computer Numeric Control	počítačem číslicově řízený stroj
CBN	Cubic Boron Nitride	kubický nitrid boru
HSC	High Speed Cutting	vysokorychlostní obrábění
HFC	High Feed Cutting	vysokoposuvové obrábění
PKD		polykrystalický diamant
VBD		vyměnitelná břitová destička

Úvod

Kořeny strojírenství sahají až do středověku. Proto jsou dnešní metodiky a vývoj na tak vysoké úrovni a probíhají velice rychlým tempem. Aby firmy měly co největší přínos pro průmysl, musejí optimalizovat výrobu, což jsou stroje, nástroje, řezné podmínky apod. Proto budu v bakalářské práci volit nejvhodnější nástroj pro frézování rovinných ploch.

Bakalářská práce má dvě části. První je teoretická a druhá praktická. První část je psána jako rešerše. Zabývá se historií obrábění, jeho druhy, obecně je popsáno strojírenství a odvětví strojírenství. Další částí je problematika frézování, ve které jsem se zaměřil hlavně na nástroje.

Druhá část je praktická. Ta se zabývá samotnou volbou nástroje pro rovinné frézování. Zkoušení probíhalo na CNC stroji od firmy HURCO GmbH a na zkušební ocelové destičce. Volba probíhala mezi třemi frézami. První fréza byla frézovací hlava s VBD od firmy Pramet Tools. Druhá byla frézovací hlava s VBD od firmy Korloy. A třetí, poslední fréza s VBD také od firmy Pramet Tools. Zkoušení probíhalo s řeznými parametry doporučené výrobcem. Na základě kvality povrchu a efektivity obrábění jsem zvolil nejvhodnější nástroj pro rovinné frézování.

Toto téma a jeho vyřešení mi nabídla firma JCEE s.r.o. Společnost se nachází v Lanškrouně a byla založena v roce 1992. Z počátku firma pracovala pouze na vývoji jednoúčelových strojů a automatizovaných zařízení. V roce 1995 odstartovala výstavbu nových prostor na stávající adrese. O dva roky později spustili výrobu jednoúčelových strojů a automatizovaných zařízení přímo ve firmě v nových prostorách. V roce 2001 byla vybudována budova obrobny, hned vedle montážní haly. Tím byla spuštěna výroba zakázkových dílů. V roce 2004 došlo k rozšíření výroby strojů pro automobilový průmysl, což je momentálně hlavní náplň firmy. Za další dva roky se firma rozrostla. Vznikla pobočka v Moravské Třebové, kde dochází také k montáži strojů a svařování těžkých rámců pro jednotlivé stroje. V roce 2008 proběhla restrukturalizace firmy. Japonští majitelé se vzdali firmy a novým majitelem se stal český Ing. Rostislav Klein.[1]

Vysoká kvalita výroby a služeb je způsobena dlouhou historií japonské společnosti s více než 20. letou praxí. Díky nápadům, zrozených v konstrukční kanceláři a obrobně, která se nachází ve stejném areálu, je celý stroj vytvořen pod jednou střechou. Od počátku až do jeho finální podoby a předání zákazníkovi. Společnost JCEE s.r.o. zastupuje také přední světové výrobce, kterými jsou Janome, Nisca a CSM.[1]

Hlavní náplní firmy je výroba montážních a kontrolních strojů, dále také automatizovaná pracoviště a montážní linky sloužící k mechanizaci a automatizaci výrobních procesů. Stroje jsou vyvíjeny a vyráběny podle požadavků zákazníka.

Vyrobené stroje splňují evropské normy a mají certifikát CE. Aby stroje fungovali co nejlépe, jsou vybaveny různými složkami renomovaných výrobců automatizační techniky. Výbavu zajišťují kvalitní mechanické prvky, které jsou ovládané pneumatickým a hydraulickým systémem. Dalším vybavením jsou elektronické komponenty, robotické jednotky, výpočetní technika až po řídicí systémy.[2]

Stroje nacházejí uplatnění nejen v České republice ale i po celém světě, např. Mexiko, Rusko, Čína, USA atd. Do těchto zemí posílá i své zkušené pracovníky, kteří úspěšně zprovozní stroje přímo na místě.[1]



Obrázek 1 - Sídlo firmy JCEE s.r.o. [1]

1. Obecná charakteristika daného problému

1.1 Historie obrábění

První zmínky obrábění jsou zaznamenány již ve starší době kamenné, asi 500 000 let před naším letopočtem. Lidé pro své pohodlí a lepší život vynalezali různé pomůcky. Začali zpracovávat kůry stromů pro stavbu přístřešků, větve pro zbraně, pazourek na nůž atp. Kvůli svým neobvyklým materiálům nebyly tyto vynálezy moc účinné.[3]

Technický proud se zdokonaloval a v 15. století započal vývoj mechanizace řezného pohybu. S první myšlenkou přišel Leonardo da Vinci. Vynalezl soustruh s nepřerušovaným jednosměrným otáčením. Podobný princip mají například dmychadla, pušky, rýhované hlavě nebo vodní turbíny.[3]

19. století patřilo rychlému vývoji. Vědci se učili využívat přitlačné síly, řezné síly, kroutící momenty, řezné odpory a tvorbu třísky. Nakonec i efektivitě práce. Na tom všem měli velkou zásluhu tito pánové: F. Webe, M. Joessel, H. Tresca, J. A. Time a F. W. Taylor.[3]

Počítačem řízené stroje započali svoji činnost v období konce II. světové války. Nejprve se používali na výrobu komponentů raket a letadel, které doposud jinými technologiemi nešly nijak vyrobit.[3]

Roku 1947 John Parsons vyvinul řídicí systém, který zrychlil ruční proces. Tento systém umožnil použití více bodů pro výpočty dráhy nástroje (technika „By-the-numbers“).[3]

Roku 1952 vznikl první tříosý číslicově řízený stroj. Více než 15 let patřilo vývoji, než se NC a CNC stroje staly běžně dostupné společnosti.[3]

1.2 Popis strojírenství

Strojírenství je oblast, která zahrnuje nauku o strojích, jejich funkcích a výrobě. V této oblasti dochází převážně k výrobě různorodé techniky a vzniku nových technických věd tzn. výroba moderních automatizovaných a mechanizovaných strojů. Vysoká produktivita je docílena právě těmito stroji. Strojírenství je jedno z nejnáročnějších, ale zároveň nejrozmanitějších odvětví v průmyslu, které má pod sebou mnoho příbuzných oborů s velikou pestrostí. Důležitá je zručnost ale také vynalézavost lidí. Je nutné pracovat s automatizovanou podporou, jakožto docílení k produktivní výrobě s minimálními ztrátami.[4]

1.3 Odvětví ve strojírenství

Těžké strojírenství

Vyrábí vybavení pro důležité hospodářské podniky. Jedná se zejména o doly, hutě a továrny. Na výrobu jednoho zařízení padne mnoho materiálu a náleží jednomu specifickému příjemci. Stroje jsou umísťovány do základů hutí. V poslední době se používá vztah mezi hutnickými komplexy a strojírenskými provozy. Jde o to, že hutnické komplexy vytváří vlastní strojírenské provozy nebo naopak strojírenské provozy vytváří vlastní hutnické komplexy. Produkty jsou těžební stroje, hutnická zařízení apod.[5]

Střední strojírenství

Tvoří výrobní zařízení pro širokou škálu odvětví, ale i pro obory lehkého průmyslu. Hlavní náplní jsou obráběcí stroje. Největší obor strojírenského průmyslu je tvořen díky masové produkci výroby automobilů a motocyklů.[5]

Do středního průmyslu řadíme obory vytvářející těžké dopravní prostředky, stavební a zemědělské stroje, agregáty atp. Řada výrobků je vyráběna v nezbytné blízkosti jejich budoucího užití. Např. výroba lodí v přístavech, vagóny a lokomotivy v blízkosti železnic. Produkty jsou obráběcí stroje, lodě, lokomotivy, vagóny, letadla, zemědělské stroje, traktory, nakladače, těžká nákladní auta, stroje pro samostatnou těžbu dřeva, automobily, motocykly.[5]

Lehké strojírenství

Lehké strojírenství zahrnuje obory, jejichž náplní je výroba elektrotechniky a elektroniky. Je charakterizováno velkou výrobou s malou spotřebou materiálu. Na pracovní sílu nejsou kladeny vysoké kvalifikace. Produkty jsou radiopřijímače, televize, spotřební elektronika atp.[5]

Přesné strojírenství

Do tohoto odvětví spadá jemná mechanika, optika, výroba měřících přístrojů a speciální zařízení pro zdravotnické i jiné účely. Dále také složitá elektronika.[5]

Přesné strojírenství je charakterizováno převahou kvalifikované pracovní síly nad množstvím a hodnotou materiálu.[5]

Produkty jsou počítače, digitální a telekomunikační přístroje, hodinky, fotoaparáty, dalekohledy, přesná optika, laserové technologie.[5]

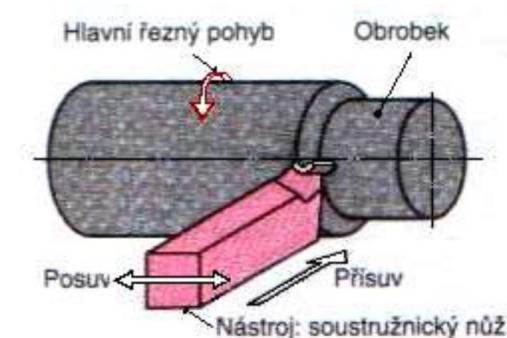
Investiční strojírenství

Poskytuje kompletní celky pro energetiku, dopravní, těžební a zpracovatelský průmysl. Jde o tzv. dodávky na klíč. Firma zajišťuje veškeré technologie, materiál i konečnou kompletaci. Výroba takovýchto investičních celků je možná jen v oblastech s velkou koncentrací různorodého a vyspělého strojírenství.[5]

1.4 Základní druhy obrábění

Soustružení

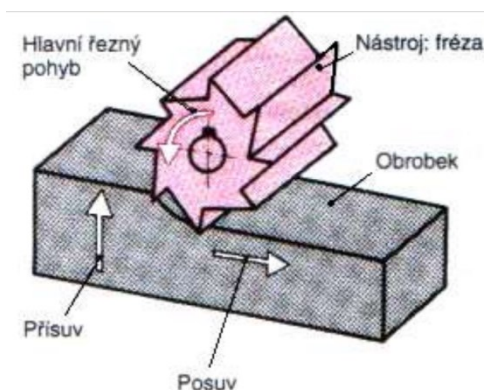
Je to metoda třískového obrábění pro výrobu z velké části rotačních těles. Obrábění většinou provádí jednobřitý nástroj. Jde o nejjednodušší ale zároveň nejpoužívanější způsob třískového obrábění.[6]



Obrázek 2 - Pohyby při soustružení [7]

Frézování

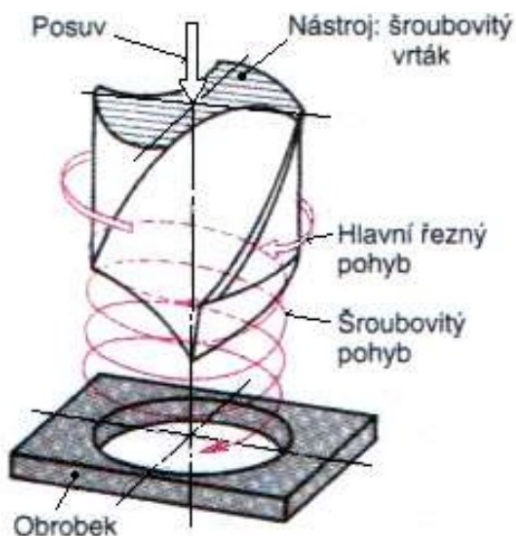
Je to metoda obrábění, která je velice rozšířená. Jeho výhoda spočívá ve velké výkonnosti při velmi dobré kvalitě. Frézování se využívá pro obrábění hranolovitých (prizmatických) rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obrábění závitů a ozubení.[6]



Obrázek 3 - Pohyby při frézování [7]

Vrtání

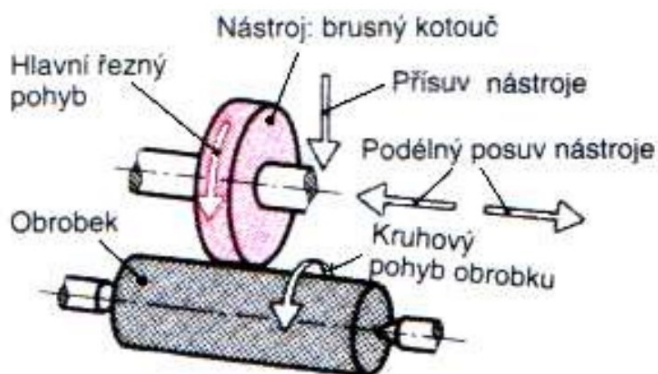
Metoda obrábění sloužící k vytvoření děr, bez kterých se ve strojírenské výrobě neobejdeme, proto je tato operace velmi častá. Jejich tvary mohou být různé a odvíjí se od jejich funkce. Jako nástroj se používá vrták.[6]



Obrázek 4 - Pohyby při vrtání [7]

Broušení

Broušení je dokončovací operace, která nám zvýší kvalitu povrchu. Obrábění je prováděno mnohobřitým nástrojem s nedefinovatelnými řeznými hranami. Zrna jsou k sobě spojena pojivem. Velkým přínosem je u výroby valivých ložisek.[6]

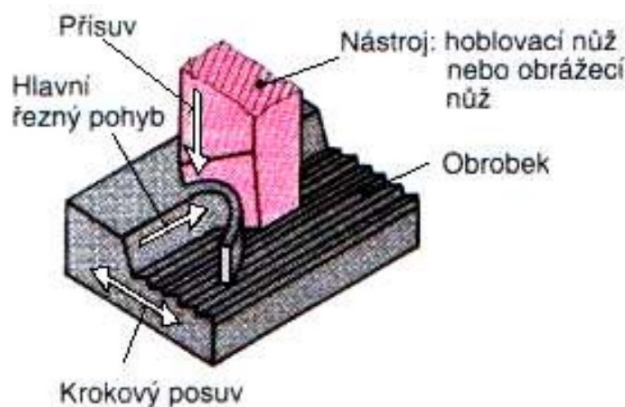


Obrázek 5 - Pohyby při broušení [7]

Hoblování a obrážení

U hoblování se rovinné plochy opracovávají přímočarým pohybem jednobřitého nástroje. Nástrojem je nůž. Obrobek je upnutý na stole stroje a koná hlavní pohyb do řezu. Velikost třísky se mění pomocí polohy nože.[6]

Obrážení je způsob obrábění rovinných ploch, drážek, rotačních a tvarových přímkových ploch. Hlavní přímočarý vratný pohyb koná nástroj. Posuv do záběru koná obrobek upnutý na stole stroje (obrážečky).[6]



Obrázek 6 - Pohyby při hoblování a obrážení [7]

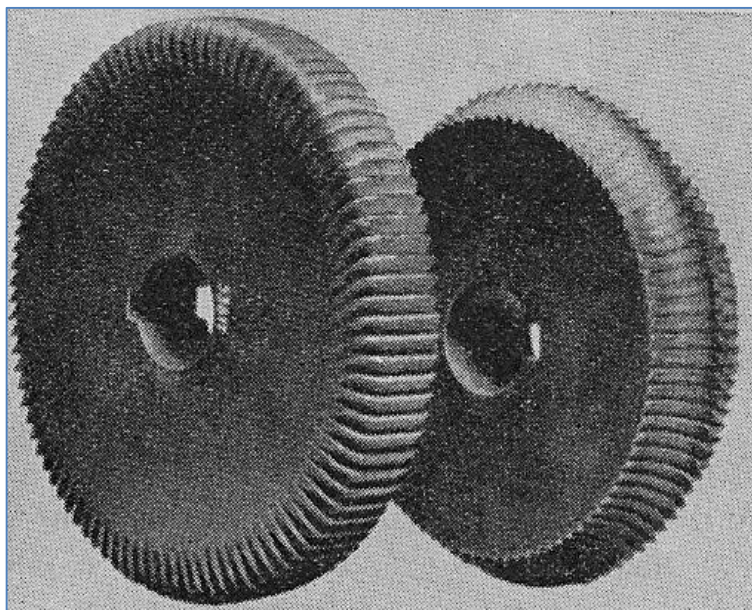
1.5 Historie frézování

Kvůli potřebě obrábět vnitřky dělových hlavních, museli řemeslníci vymyslet takovou technologii, která by to dokázala. Nejprve vznikla vrtačka a pak soustruhy. V dalším vývoji obráběcích strojů vznikly frézky s příslušnými nástroji.[8]

Konec 18. století byl významný díky vzniku první frézy. Jejich hlavní náplní bylo rozmanité pilování v zámečnictví. Tvary břitů se podobaly pilníkům.[8]

Tyto první frézy měli kotoučový tvar. Obvod nástroje připomínal plochu pilníku. Měl tedy vytvořené mělké záseky umístěné těsně za sebou.[8]

Dalším vývojem bylo prohlubování a rozšiřování drážek. Tím došlo k zmenšování počtu zubů a ke zvětšování vzdálenosti mezi nimi. Tento pokrok měl příznivý dopad na odřezávání třísky a její odvod z pracoviště. Úpravou hřbetních ploch došlo k dalšímu zdokonalování.[8]



Obrázek 7 - Původní frézy [8]

Na začátku 19. století, asi v roce 1818 vznikl první frézovací stroj. Tato frézka byla vybavena všemi částmi dnešních frézek. Stojan byl vyroben ze dřeva a byl podepřen litinovými nohami.[8]

Litinová ložiska, která měla pánve vylity kompozicí, obstarávaly uložení vřetene. Stojánky ložisek byly také litinové a byly připevněny k dřevěnému stojanu velmi primitivním způsobem.[8]

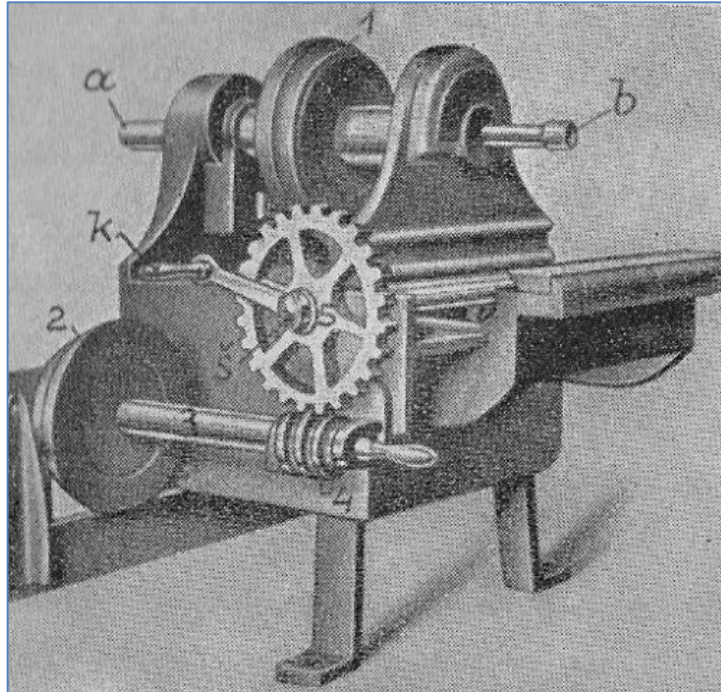
Tato frézka bohužel nenašla své upotřebení a využití, protože ve své době nebyla náležitě oceněna.[8]

Princip:

„Pohyb řezný se přiváděl na vřeteno v místě a, kde byl nasazen řemenový kotouč. Fréza byla upevněna v místě b.

Pohyb záběrný byl odvozen od vřetena. Z kotouče 1 vedla šňůra na kotouč 2, nasazený na předlohovém hřídeli 3. Z tohoto hřídele se převáděl Šroubovým soukolím (šroubem 4 a Šroubovým kolem 5) na záběrný Šroub Š (stůl není vyobrazen).

Když se pracovalo s posuvem ručním, tj. když se otáčelo záběrným šroubem klikou h, byl záběr šroubu se šroubovým kolem přerušen, a to snížením ložiska šroubu.“[8]



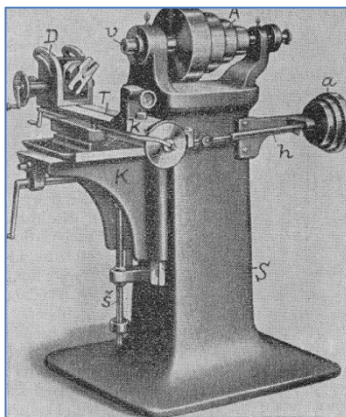
Obrázek 8 - Frézka z roku 1818 [8]

Univerzální frézka vznikla v roce 1862. Sloužila hlavně k výrobě šroubových vrtáků, jejichž drážky se dříve musely pilovat ručně. Frézováním došlo k produktivnější výrobě. Dosahovalo se větší přesnosti při kratší době výroby. Tato frézka započala rychlý vývoj konzolových frézek, které se od té doby vyráběly ve třech verzích: jednoduché, univerzální a vertikální.[8]

Univerzální frézka již měla všechny základní znaky novodobých frézek. Na tu dobu měla účelnou, ale i úhlednou konstrukci. K jejímu příslušenství patřil otočný stůl a dělicí stroj.[8]

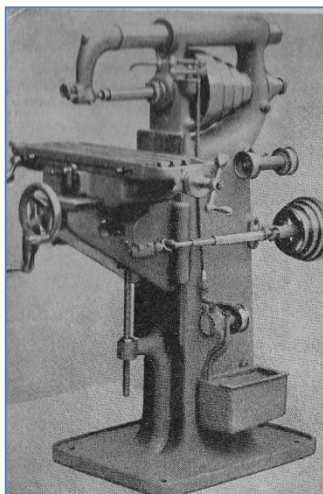
Frézka měla vysoký skříňový stojan, na kterém byl uložen vřeteník. Na vřetenu byl čtyřstupňový řemenový kotouč. Saně, otočná deska a stůl byly uloženy na konzole. Dělicí přístroj a koník byly připevněny na stole. Pomocí šroubu se konzola zvedala nebo spouštěla. Záběrný pohyb se odvozoval od vřetena.[8]

Na tehdejší dobu tato frézka překvapila celý svět na světové výstavě v Paříži roku 1867.[8]



Obrázek 9 - Univerzální frézka z roku 1862 [8]

V roce 1900 měla frézka několik zlepšení. Oproti frézce z roku 1862 měla pyramidový stojan místo rovného. Konzola byla značně zesílena a rozšířena. Na podepření frézovacího trnu vznikl zvláštní nosník se zahnutým podpěrným ramenem.[8]



Obrázek 10 - Frézka z roku 1900 [8]

Budoucnost frézek probíhala podobně jako u ostatních obráběcích strojů. V 19. století byl vývoj zrychlen zbrojní technikou a technikou parního stroje. Ve 20. století se o vývoj postaral automobilismus a letectví.[8]

2. Nástroje pro rovinné frézování

2.1 Podstata metody

Frézování patří k nejpoužívanější metodě při úběru materiálu. Jedná se o výkonnou metodu s velmi dobrou kvalitou obrábění. Frézování se využívá pro obrábění hranolovitých (prizmatických) rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obrábění závitů a ozubení.[6]

Odebíraný materiál odchází formou třísek z místa řezu. Úběr třísek vykonává nástroj, který nazýváme fréza. Při frézování je hlavní pohyb rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb vykonává upnutý obrobek, který obvykle koná přímočaré pohyby. Výsledný řezný pohyb jednoho zubu frézy je tedy cykloida. Moderní víceosá obráběcí centra jsou vybaveny posuvy, které probíhají ve více směrech najednou (víceosá obráběcí centra).[6]

2.2 Frézování válcovými frézami

Tyto frézy mají zuby pouze na obvodu. Osa frézy je tedy rovnoběžná s osou obráběné plochy. Hloubka řezu se nastavuje kolmo na osu obráběné plochy. Vytvoření obrobené plochy a utváření třísky závisí na směru posuvu ke smyslu rotace nástroje. Z tohoto hlediska rozeznáváme dva druhy frézování. Frézování sousledné (souměrné) a nesousledné (nesouměrné).[6]

2.2.1 Sousledné frézování

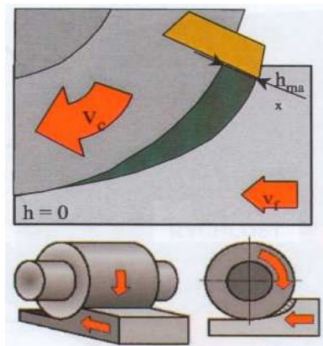
Při sousledném neboli souměrném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se při obrábění mění z maximální hodnoty do minimální. Pokud má stroj vůle a předpětí mezi kuličkovým šroubem a maticí stolu, může skončit frézování s poškozeným nástrojem nebo dokonce i strojem.[6]

Výhody sousledného frézování:

- Trvanlivost nástrojů je vyšší.
- Možnost použití vyšších řezných rychlostí a posuvů.
- Pro obrábění je dostačující menší řezný výkon.
- Snadnost upínání (obrobek je při obrábění přitlačován ke stolu).
- Nižší náchylnost ke kmitání.
- Obrobená plocha má lepší jakost povrchu.[6]

Nevýhody sousledného frézování:

- Vysoká silová zátěž pro každý zub nástroje při záběru.
- Nevhodné pro obrábění materiálů s tvrdým a znečištěným povrchem.[6]



Obrázek 11 - Sousedné frézování [9]

2.2.2 Nesousledné frézování

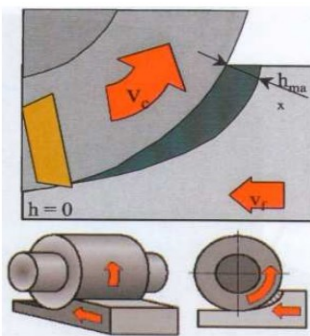
Při nesousledném, neboli nesouměrném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se při obrábění mění od minimální hodnoty na maximální. Zub frézy nemůže mít ostrou hranu. Má malou plošku o poloměru cca 8 až 30 mikrometrů. To je důvod, který řídí počátek oddělování třísky. Při vniknutí ostří do materiálu dochází pouze ke stlačování materiálu. U nesousledného frézování dochází vlivem silových účinků a deformací k většímu opotřebování ostří.[6]

Výhody nesousledného frézování:

- Nižší opotřebování stroje (šrouby a matice).
- Počáteční záběr zubů nezávisí na hloubce řezu.
- Povrch obrobku nemá tak velký vliv na trvanlivost nástroje.[6]

Nevýhody nesousledného frézování:

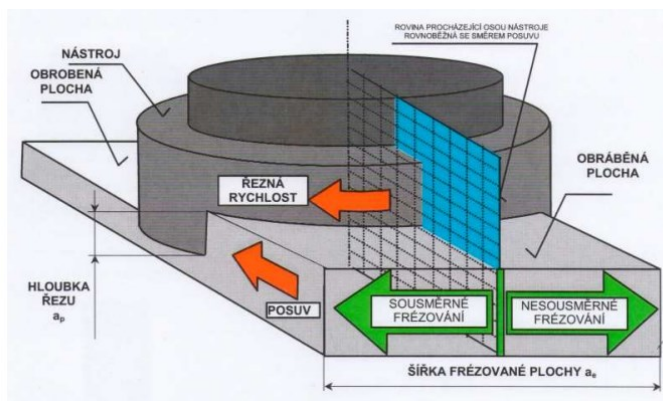
- Jakost obrobené plochy je na horší úrovni.
- Nevhodné silové účinky vzhledem k obrobku.[6]



Obrázek 12 - Nesousledné frézování [9]

2.3 Frézování čelními frézami

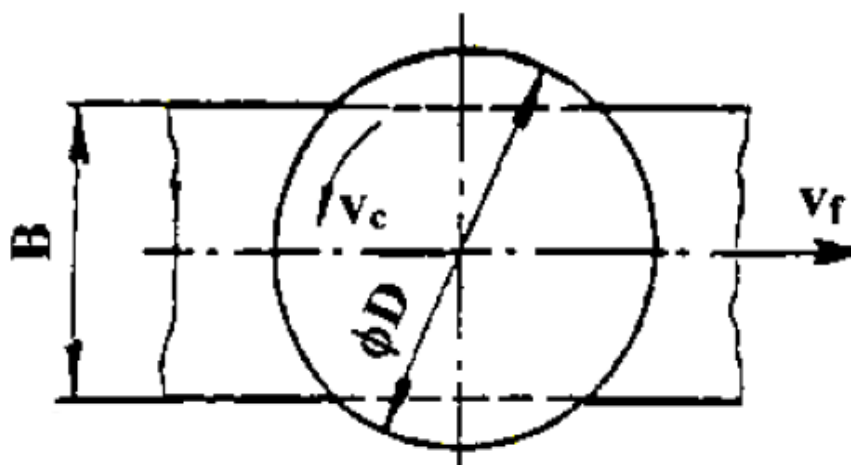
U čelního frézování má nástroj břity na obvodu, ale i na čele frézy. V záběru je tedy více břitů najednou. Proto je dovoleno použít vyšší posuvové rychlosti. Břity na obvodu odebírají třísky a čelní břity obrobenou plochu vyhlazují. Ve směru osy frézy se nastavuje hloubka řezu.[9]



Obrázek 13 - Souměrné a nesouměrné čelní frézování [9]

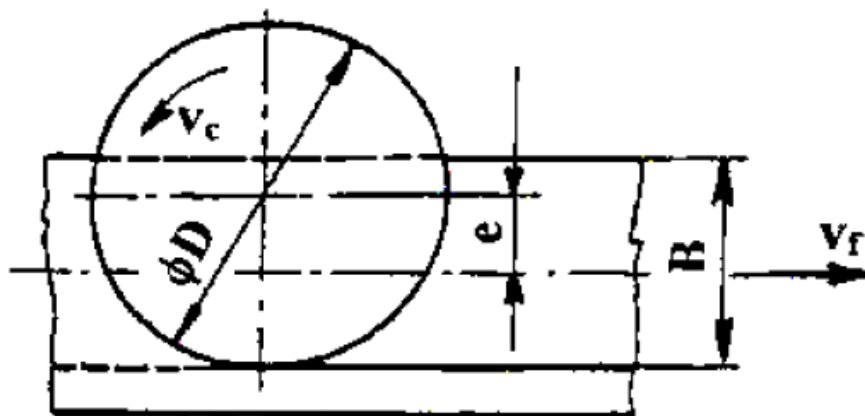
Podle polohy nástroje vzhledem k obrobku rozeznáváme dva typy čelního frézování:

Symetrické frézování – osa frézy prochází středem obráběné plochy.[6]



Obrázek 14 - Symetrické frézování [6]

Nesymetrické frézování – osa frézy je mimo střed obráběné plochy.[6]

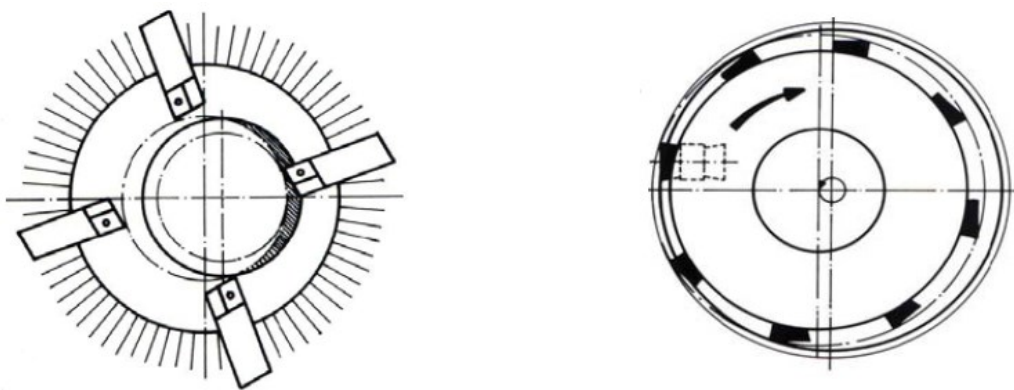


Obrázek 15 - Nesymetrické frézování [6]

2.4 Odvozené typy frézování

2.4.1 Okružní frézování

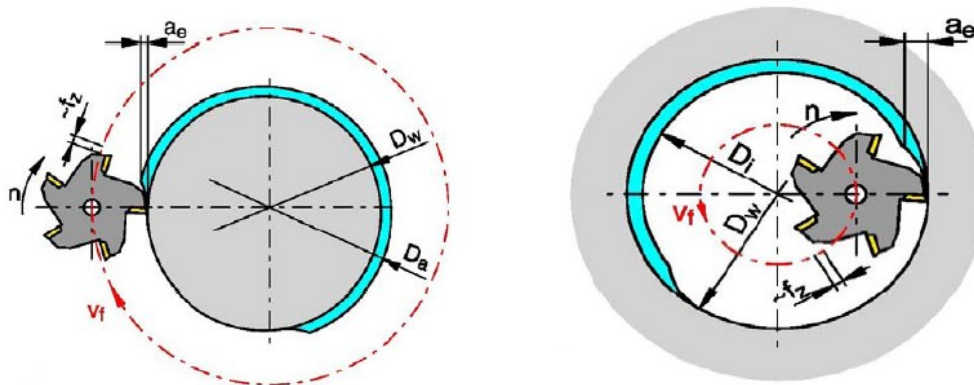
Obrábí se obvodem frézy. Nástroj je frézovací hlava osazena několika noži. Hlavní náplní je obrábění dlouhých válcových tyčí a výroba závitů. Okružním frézováním je možno obrábět vnější ale i vnitřní plochy.[9]



Obrázek 16 - Okružní frézování [6]

2.4.2 Planetové frézování

Tento způsob se hlavně využívá u obráběcích center a číslicově řízených strojů, které obsahují kruhovou interpolaci dráhy nástroje. Planetovým frézováním je možno obrábět vnější, ale i vnitřní plochy.[9]



Obrázek 17 - Planetové frézování [6]

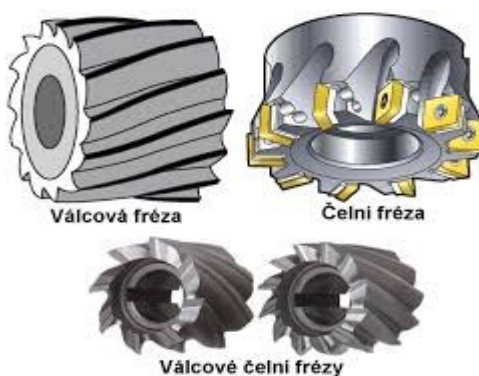
2.5 Frézovací nástroje

Frézy jsou nejrozsáhlejší oblastí různorodých obráběcích nástrojů. Mají nejvíc typů a druhů. Jejich rozdělení je uvedeno v ČSN. Frézy jsou několikabřité nástroje. Zuby mohou být umístěné na různých plochách nástroje. Z toho vyplývá, že frézy máme válcové, kuželové, čelní (břity jsou na čelní i válcové ploše), kotoučové a tvarové. Převážná většina těchto nástrojů je normalizovaná.[10]

Rozdělení fréz:

1. Dle umístění břitů na tělese frézy

- válcové frézy – břity jsou umístěné na válcové ploše nástroje
- čelní frézy – břity jsou umístěné na čelní ploše nástroje
- válcové čelní frézy – břity jsou umístěné na válcové i čelní ploše nástroje[6]



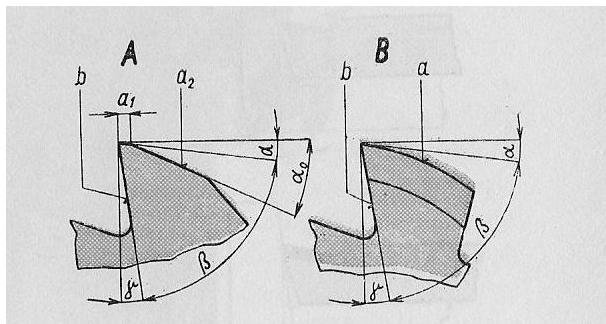
Obrázek 18 - Rozdělení fréz podle umístění břitů [11]

2. Dle druhu materiálu frézy

- z rychlořezné oceli
- ze slinutých karbidů
- z cermetů
- z řezné keramiky
- z PKD
- z CNB[6]

3. Dle způsobu výroby břitů

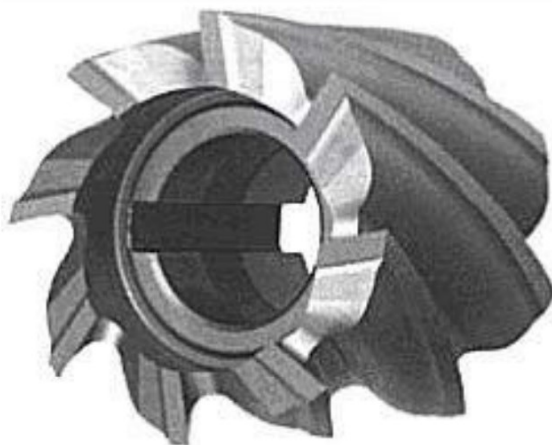
- zuby frézované (A)
- zuby podsoustružené (B) [6]



Obrázek 19 - Frézované a pod soustružené zuby [12]

4. Dle směru břitů

- frézy s břity přímými
- frézy s břity ve šroubovici (pravá, levá) [6]



Obrázek 20 - Fréza s břity ve šroubovici [6]



Obrázek 21 - Fréza s břity přímými [6]

5. Dle počtu břitů

- jemnozubé frézy
- polohrubozubé frézy
- hrubozubé frézy

Aby se dosáhlo klidného chodu, musí být v záběru minimálně dva zuby.[6]

6. Dle konstrukčního uspořádání

- celistvé (stejný materiál celého nástroje)
- s vloženými zuby
- s vyměnitelnými břitovými destičkami (mechanicky připevněné destičky)[6]

7. Dle geometrického tvaru funkční části

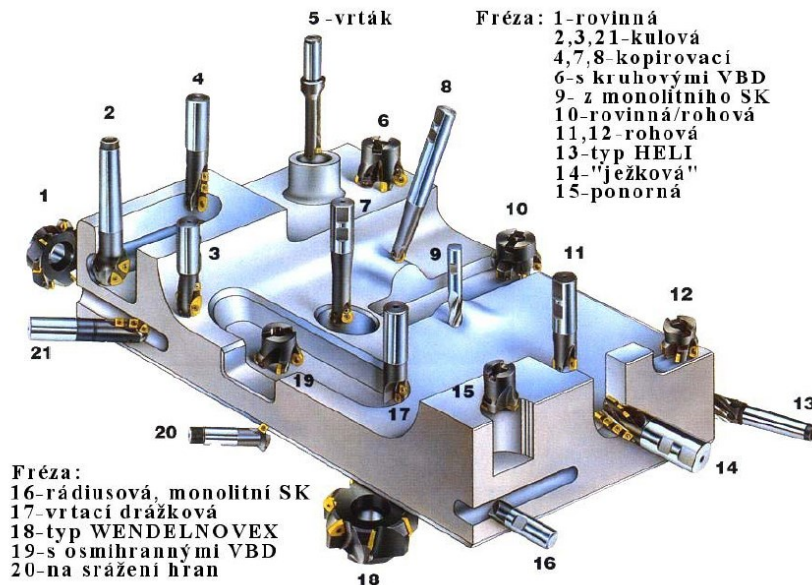
- válcové frézy
- kotoučové frézy
- úhlové frézy
- drážkovací frézy
- kopírovací frézy
- radiusové frézy
- frézy na výrobu ozubení[6]

8. Dle způsobu upnutí

- nástrčné frézy (uchycení na centrální otvor)
- stopkové frézy (válcová nebo kuželová stopka)[6]

9. Dle smyslu otáčení

- pravořezné frézy
- levořezné frézy[6]



Obrázek 22 - Frézy na různé druhy operací [6]

2.6 Frézovací stroje

Frézovací stroje neboli frézky jsou obráběcí stroje sloužící k třískovému obrábění. Stroje dokáží obrábět jednu nebo více ploch obrobku jednou frézou nebo použitím soupravy několika fréz. Své uplatnění mají v kusové, sériové i v hromadné výrobě. Protože se na těchto strojích dají vytvářet různorodé tvary, různé mechanické prvky jako jsou závit, ozubení, ale také rotační plochy, jsou frézky nejuniverzálnějšími obráběcími stroji.[13]

Podle konstrukce a druhu práce rozdělujeme frézky do několika skupin:

- konzolové
- stolové
- rovinné
- speciální[6]

Šířka upínací plochy stolu, velikost kužele ve vřetenu, délka pohyblivosti stolu nebo vřeteníku, rozsah posuvů a otáček vřetene, výkon elektromotorů, parametry obrobené plochy nám určují velikost frézovacího stroje.[6]

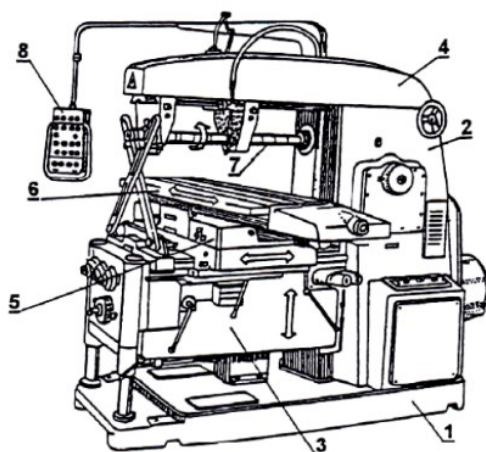
Další rozdělení frézek je podle ovládání. Buď jsou ručně ovládané, nebo jsou programově řízené (automatizované).[6]

2.6.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky patří k nejrozšířenějším frézovacím strojům. Hlavní částí je konzole, která se pohybuje ve svislém směru nahoru a dolů. Na konzole je umístěn pracovní stůl, který koná příčný a podélný pohyb. Obrobek se tedy dokáže pohybovat ve třech navzájem pravouhlých osách. Tyto frézky se využívají v kusové a malosériové výrobě.[6]

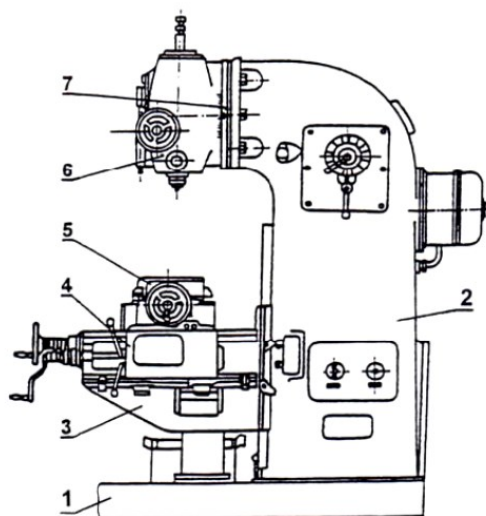
Konzolové frézky rozdělujeme na:

- vodorovné
- svislé
- univerzální[6]



- 1 – základna
- 2 – stojan
- 3 – konzola
- 4 – rameno
- 5 – příčný stůl,
- 6 – podélný pracovní stůl,
- 7 – vřeteno
- 8 – ovládací panel

Obrázek 23 - Konzolová vodorovná frézka [6]

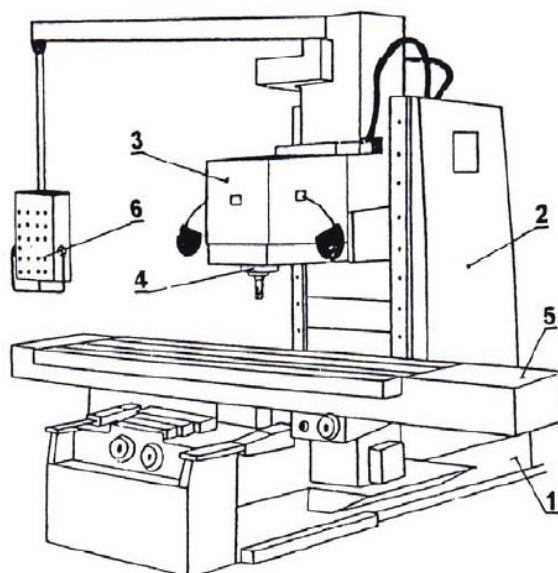


- 1 – základna
- 2 – stojan
- 3 – konzola
- 4 – příčný stůl
- 5 – podélný pracovní stůl
- 6 – naklápěcí vřeteník
- 7 – kruhová základna vřeteníku

Obrázek 24 - Konzolová svislá frézka [6]

2.6.2 Stolové frézky

Mají podélný příčný stůl. Svislý pohyb vřeteníku je uskutečňován po vedení stojanu frézky. Stolové frézky dokáží produktivně a kvalitně obrábět těžké a velké součásti. Jsou vodorovné ale i svislé.[6]

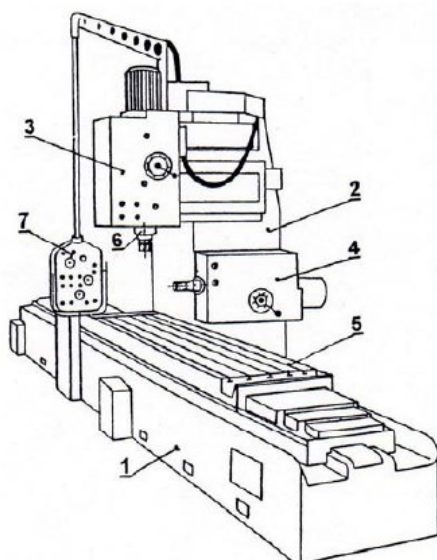


- 1 – základní deska
- 2 – stojan
- 3 – vřeteník
- 4 – vřeteno
- 5 – pracovní stůl
- 6 – ovládací panel

Obrázek 25 - Stolová frézka [6]

2.6.3 Rovinné frézky

Jsou to masivní stroje, které náležejí k nejvýkonnějším frézovacím strojům. Díky své konstrukci mohou obrábět těžké a rozměrné součásti. Konstrukce rovinných frézek je taková, že mají jeden vřeteník, popřípadě druhý, který se nachází na opačné straně stolu. Každý vřeteník má svojí převodovku a motor. Tyto frézky jsou charakterizovány velkým výkonem a uspokojivou geometrickou přesností.[6]



- 1 – lože
- 2 – stojan
- 3 – svislý vřeteník
- 4 – vodorovný vřeteník
- 5 – pracovní stůl
- 6 – vřeteno
- 7 – ovládací panel

Obrázek 26 - Rovinná frézka [6]

2.6.4 Speciální frézky

Tyto frézky se vyznačují speciální činností. Např. frézky na ozubení, na vačky, na drážky, na závity, pantografické, atd.[14]

Frézky na závity

Závity se vytváří pomocí tvarové kotoučové, válcové nebo okružovací frézy. Jedná se o efektivní způsob vytváření závitů. Kotoučovými frézami se tradičně frézují lichoběžníkové závity. Závitovými nástrčnými nebo stopkovými frézami se vytváří krátké závity. Okružovacím způsobem frézování se vytváří hlavně dlouhé vodící šrouby vyšších přesností.[14]

Frézky na ozubení

K vytvoření čelních ozubených kol se používají tvarové nebo odvalovací frézy. Tvarová stopková nebo tvarová kotoučová fréza se používají u frézování dělicím způsobem. Další způsob je odvalovací. Používá se odvalovací fréza. Vyrábějí se z vysoce výkonných rychlořezných ocelí.[14]

Frézky na drážky

Obsahují posuvný vřeteník, který se rovnoběžně pohybuje s podélným posuvem stolu. Tím umožňují vřeteníku frézovat drážky a drážky pro pera do hřídelů.[14]

Frézky na vačky

Frézování probíhá podle šablon nebo modelů. Tím se dají vyfrézovat složité tvary jako vačky nebo drážky v křivkových bubnech.[14]

Pantografické frézky

Podle šablon dochází obvykle k frézování písmen, číslic nebo jiných tvarových ploch.[14]

3. Výběr vhodných fréz

3.1 Zadání práce

Jako téma bakalářské práce jsem měl zadaný výběr vhodné frézy pro rovinné plochy. Testovány byly tři frézovací hlavy s VBD. Výsledkem testování bylo porovnání ceny VBD, jakost povrchu a efektivita obrábění. Hlavním faktorem byla drsnost povrchu, která musela mít parametr R_a pod hodnotu $3,2 \mu\text{m}$. Frézovala se nelegovaná ocel 11 373, kterou firma obzvlášť používá, protože je vhodná pro konstrukční prvky strojů. Zkoušení probíhalo na CNC stroji od firmy HURCO GmbH s označením VMX 50.

3.2 Materiál vzorku – ocel 11 373

Ocel 11 373 je nelegovaná konstrukční ocel obvyklé jakosti. Tato ocel se hojně používá ke svařování. Dále se používá pro součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk, které jsou staticky a mírně dynamicky namáhané. Prvky vyrobené z oceli 11 373 jsou např. plechy na strojní konstrukce, páky, šrouby, zděře, nýty. Ale také mostní, jeřábové a stropní konstrukce. [15]

- kování 1150 až 750 °C
- normalizační žihání 900 až 920 °C
- žihání ke snížení pnutí 550 až 650 °C [16]

Tabulka 1 - Chemické složení oceli 11 373 [17]

Chemické složení			
C (%)	N (%)	P (%)	S (%)
0,17	0,007	0,045	0,045

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti oceli 11 373 [15]

Mechanické vlastnosti		
R_m (MPa)	$R_{e \min}$ (MPa)	HB
340 - 440	186	Max. 225

3.3 CNC stroj HURCO VMX 50 pro testování fréz

Tabulka 3 - Technické údaje CNC stroje HURCO VMX 50 [18]

Výrobce	Hurco GmbH
Velikost stolu	1500 x 660 mm
Pracovní rozsah (X,Y,Z)	1270 x 660 x 610 mm
Max. hmotnost obrobku	1360 kg
Výkon na vřetení	18 kW
Rychlost posuvu	3 – 9000 mm/min
Otáčky vřetene	12 000 ot/min
Počet řízených os/simult.	3/3
Přesnost polohování	0,005 mm

Společnost Hurco GmbH byla založena v roce 1968 Geraldem Rochem a Edwardem Humstonem se sídlem v Plieningu u Mnichova. Je to mezinárodní společnost s aktivitami po celé Evropě. Tato firma není tak obrovsky rozsáhlá, proto má užší vztah s věrnými zákazníky a dokáže tedy rychleji vyhovovat jejich požadavkům. Pro řízení strojů používá CNC řízení WinMax. Jedná se o velmi snadné a rychlé programování díky dvěma obrazovkám. Využívá automatizované programování pomocí DXF. V podstatě se výkres nahraje do stroje pomocí počítače, kde se jen doplní technologická data (nástroje, korekce poloměrů). Stroj si dokáže zapamatovat až 9999 nástrojů. Tyto stroje se také využívají pro HSC obrábění.[19, 20]



Obrázek 27 - CNC HURCO VMX50

3.4 Zkoušení fréz

3.4.1 Frézovací hlava č. 1 s VBD od firmy Pramet Tools

- označení VBD: HNGX 0906ANSN-M 8240
- vysoce pozitivní geometrie se střední obvodovou fazetkou
- používá se pro obrábění materiálů skupin materiálů P, M a K, podmíněně pak pro materiály skupin N a S
- obzvláště je vhodná pro střední obrábění[23]

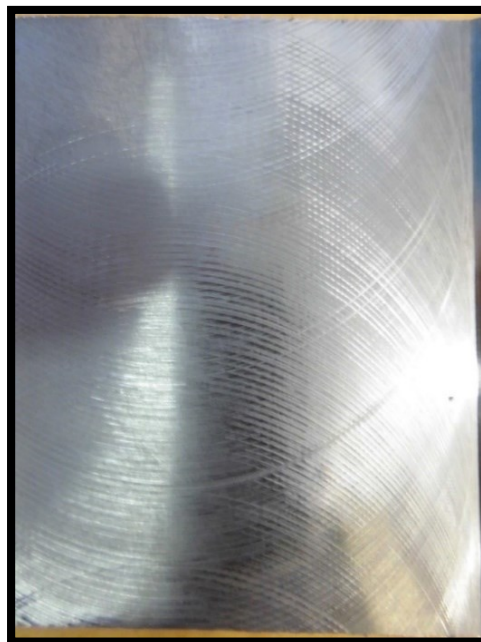
Parametry - řezné parametry jsem zvolil dle doporučení výrobce

Tabulka 4 - Parametry frézy č. 1

Ø	a _p	Z _{eff}	Z _h	n	v _c	v _f	f _z	P
[mm]	[mm]	[-]	[-]	[ot/min]	[m/min]	[mm/min]	[mm]	[CZK]
90	1	6	12	800	226	750	0,156	537,24



Obrázek 28 - Frézovací hlava, VBD Pramet



Obrázek 29 - Povrch po fréze č. 1



Obrázek 30 - VBD č. 1

3.4.2 Frézovací hlava č. 2 s VBD od firmy Korloy

- označení VBD: OFKR0704SN-MM, PC3545
- střední a hrubé frézování oceli
- zvýšená odolnost substrátu proti vyštípnutí
- K-pozlacení[22]

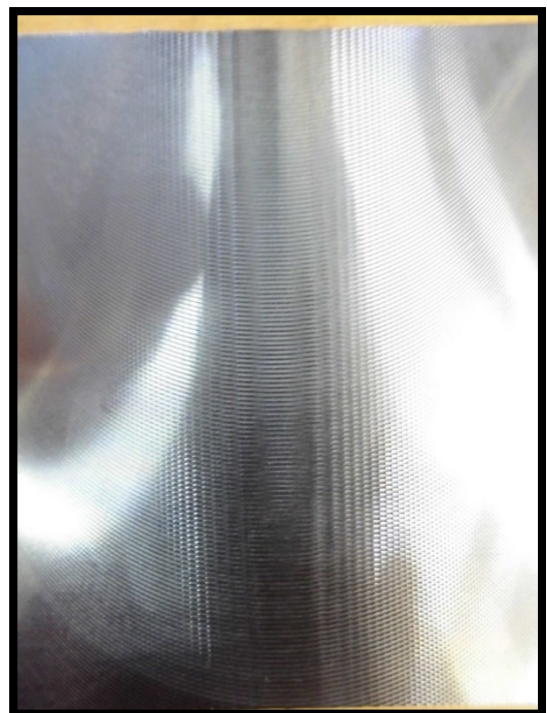
Parametry - řezné parametry jsem zvolil dle doporučení výrobce

Tabulka 5 - Parametry frézy č. 2

Ø [mm]	a _p [mm]	Z _{eff} [-]	Z _h [-]	n [ot/min]	v _c [m/min]	v _f [mm/min]	f _z [mm]	P [CZK]
90	1	6	8	850	240	450	0,088	572



Obrázek 31 - Frézovací hlava, VBD Korloy



Obrázek 32 - Povrch po fréze č. 2



Obrázek 33 - VBD č. 2

3.4.3 Frézovací hlava č. 3 s VBD od firmy Pramet Tools

- označení VBD : ZDEW 120408
- speciální geometrie pro HFC technologie
- používá se pro obrábění materiálů skupin P, K a H
- používá se pro lehké a střední frézování
- používá se pro kopírovací i všeobecné frézování[23]

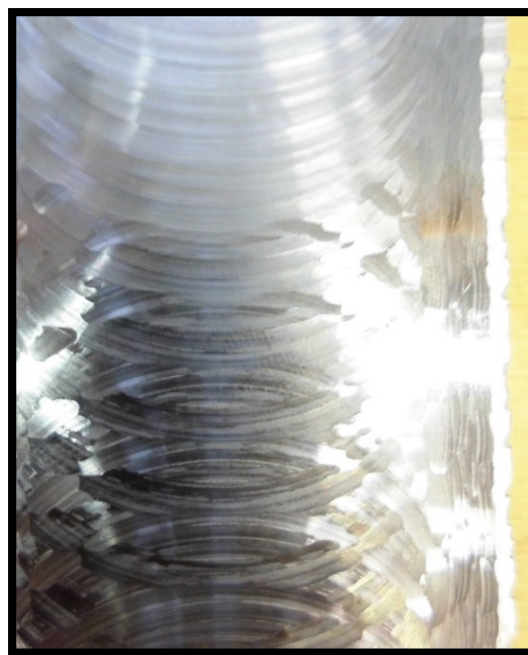
Parametry - řezné parametry jsem zvolil dle doporučení výrobce

Tabulka 6 - Parametry frézy č. 3

Ø [mm]	a _p [mm]	Z _{eff} [-]	Z _h [-]	n [ot/min]	v _c [m/min]	v _f [mm/min]	f _z [mm]	P [CZK]
50	1	4	4	1250	134	9000	1,8	343,64



Obrázek 34 - Frézovací hlava, VBD Pramet



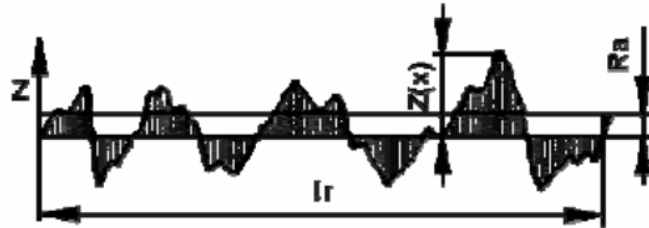
Obrázek 35 - Povrch po fréze č. 3



Obrázek 36 - VBD č. 3

3.5 Měření drsnosti

Po dokončení frézování jsem zjišťoval parametr R_a . Použil jsem drsnoměr Mitutoyo surfest 211, který mi zapůjčila katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Pro přesné výsledky jsem každou plochu změřil 12krát a z těchto údajů jsem vypočítal průměrnou hodnotu každé plochy.



Obrázek 37 - Parametr R_a [6]



Obrázek 38 - Drsnoměr Mitutoyo surfest 211

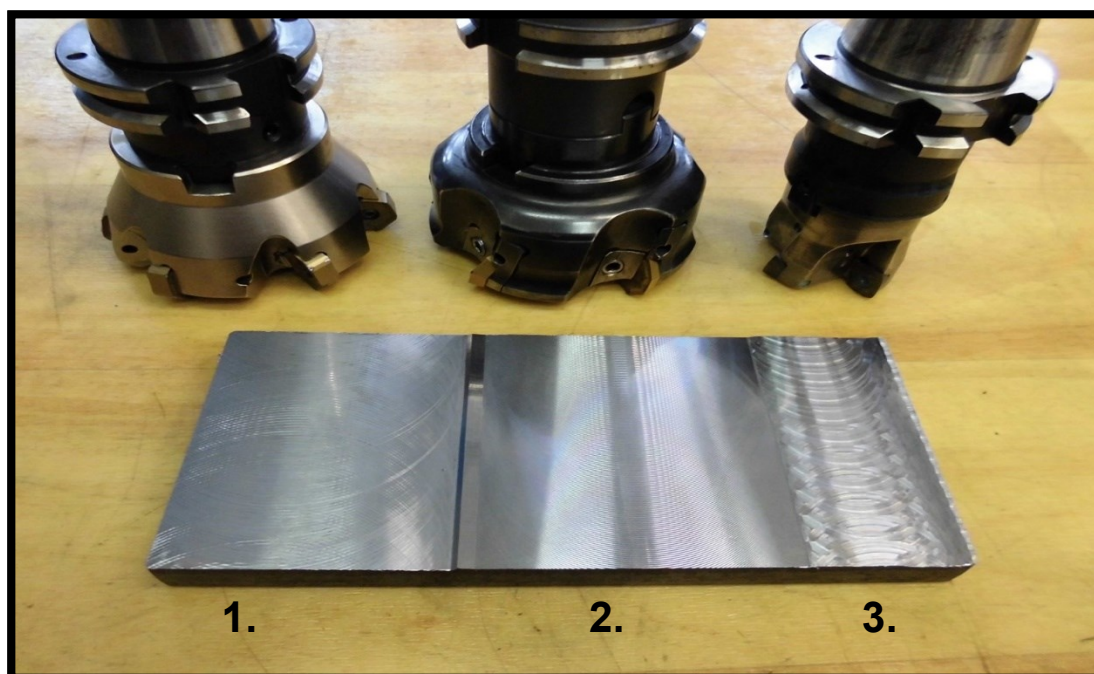
4. Diskuze experimentů

Frézovací hlavy s VBD

1. VBD HNGX 0906ANSN-M 8240 (PRAMET)
2. VBD OFKR0704SN-MM, PC3545 (KORLOY)
3. VBD ZDEW 120408 (PRAMET)

Tabulka 7 - Výsledky testování

Fréza	Ø [mm]	a _p [mm]	Z _{eff} [-]	Z _h [-]	n [ot/min]	v _c [m/min]	v _f [mm/min]	f _z [mm]	P [CZK]	R _a [µm]
1.	90	1	6	12	800	226	750	0,156	537,24	2,175
2.	90	1	6	8	850	240	450	0,088	572	10,57
3.	50	1	4	4	1250	134	9000	1,8	343,64	2,09



Obrázek 39 - Celkový pohled na výsledky

5. Technicko – ekonomické zhodnocení

Podstatou bakalářské práce bylo zvolit nejvhodnější nástroj na obrábění rovinných ploch. Použil jsem tři frézovací hlavy s VBD od dvou firem.

Nevyhovující výsledek zaznamenala fréza s VBD OFKR0704SN-MM, PC3545 od firmy Korloy. Vytvořila povrch s nejhorší drsností. Navíc má nejdražší VBD z těchto tří testovaných. Tato fréza měla zároveň nejpomalejší posuv na zub. Pouhých 0,088 mm.

Fréza s VBD ZDEW 120408 (PRAMET) vytvořila nejlepší jakost povrchu. Cenově vychází nejlépe. Avšak velká nevýhoda je v malém počtu otočení destičky, pouze 4krát. Další nevýhodou je průměr frézy, který je nejmenší. Tento nedostatek ovšem dohání velký posuv na zub až 1,8 mm.

Poslední fréza s VBD HNGX 0906ANSN-M 8240 měla podobný výsledek jako předchozí. Dokázala vytvořit povrch s parametrem $R_a=2,175 \mu\text{m}$. Tato fréza experiment vyhrála, protože její VBD může být až 12krát otočená, což je 3krát více než u předchozí.

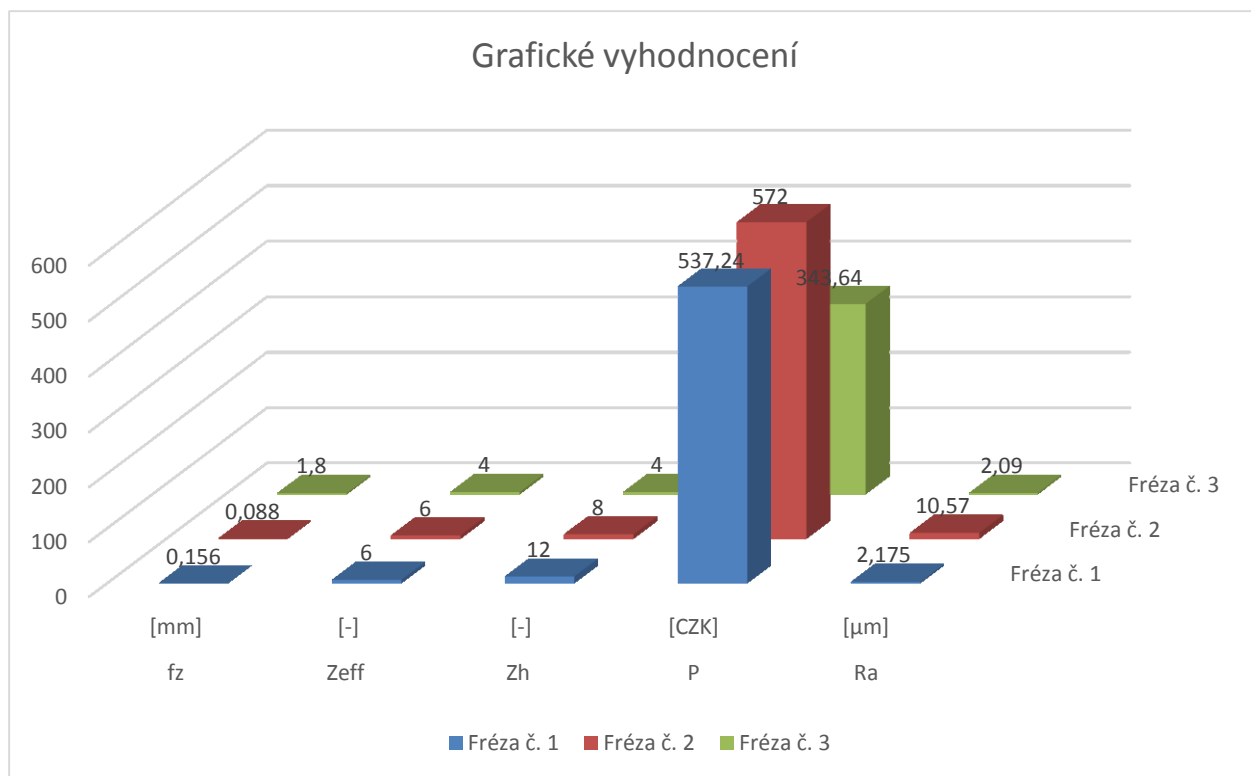
Tabulka 8 - Vyhodnocení

Fréza	f_z [mm]	Z_{eff} [-]	Z_h [-]	P [CZK]	P_c [CZK]	R_a [μm]
1.	0,156	6	12	537,24	3223,44	2,175
2.	0,088	6	8	572	3432	10,57
3.	1,8	4	4	343,64	1374,56	2,09

Testování nám ukázalo, že firma Pramet Tools je stále špičkou ve svém oboru. Díky dlouhodobému působení na trhu a používání nejmodernějších zařízení.



Obrázek 40 - Vyhodnocení povrchu



Graf 1 - Grafické vyhodnocení testování

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo vybrat nejvhodnější frézovací nástroj pro frézování rovinných ploch. Prioritou bylo zkoumání drsnosti povrchu vzhledem k parametrům frézování doporučené výrobcem a cenou VBD.

V úvodní části jsem přiblížil obsah bakalářské práce a také jsem popsal firmu JCEE s.r.o., ve které probíhalo testování fréz.

V následující teoretické části jsem obecně přiblížil frézování. Zmínil jsem se o historii obrábění i frézování, o základních druzích obrábění, ale také pár vět o strojírenství a jeho odvětví. Další kapitola se zabývala metodami frézování, stroji, ale hlavně nástroji.

V praktické části jsem nejprve popsal frézovanou ocel 11 373. Následně pak testovací stroj HURCO VMX 50 a vybrané frézovací nástroje s VBD. Dvě frézy měly VBD od firmy Pramet Tools a jedna fréza měla VBD od firmy Korloy. Parametry frézování se stanovily dle doporučení výrobců. Poté se provedlo měření parametru R_a . Vše bylo zaznamenáno do přehledných tabulek a grafu. Nakonec proběhlo vyhodnocení, dle cen VBD, parametru drsnosti a efektivity obrábění.

Pro frézování rovinných ploch byla vybrána nejvhodnější frézovací hlava s VBD HNGX 0906ANSN-M 8240 od firmy Pramet Tools, která má největší počet pootočení destičky v lůžku frézovací hlavy, a která dosáhla vyhovující drsnosti.

Seznam použité literatury

- [1] JCEE s.r.o.: O společnosti JCEE s.r.o. *JCEE s.r.o. Vývoj a výroba jednoúčelových strojů* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.jcee.cz/o-spolecnosti>
- [2] JCEE s.r.o.: Jednoúčelové stroje. *JCEE s.r.o. Vývoj a výroba jednoúčelových strojů* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.jcee.cz/nase-cinnost/jednoucelove-stroje>
- [3] PETRUŠKA, Jakub. *Třískové obrábění* [online]. Brno, 2014, 35 s. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=83858. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan KALIVODA.
- [4] Strojírenství: Popis oboru. *Manuál k úspěchu* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://manualkuspechu.cz/index.php/strojirenstvi>
- [5] Strojírenství: Odvětví strojírenského průmyslu. *TECHYES* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.techyes.cz/cs/prime-odkazy-na-prumyslova-odvetvi/strojirenstvi.html>
- [6] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007 Dostupné na <http://www.elearn.vsb/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-03.
- [7] *Teorie třískového obrábění: Metody třískového obrábění* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T11.pdf>
- [8] Metal cutting technologies: Historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>
- [9] *Technologie frézování: Druhy frézování* [online]. Šumperk, 2007 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf
- [10] *Základy technologie II: Nástroje pro frézování* [online]. Praha: ČVUT, 2005 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady_technologie_2.pdf
- [11] *Technologie I: Základy metody obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2004 [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf
- [12] Metal cutting technologies: Geometrie a úhly kotoučových fréz. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/geometrie-nastroju/geometrie-frezy/>
- [13] Základy frézování: Praxe. *Střední průmyslová škola Ostrava* [online]. Ostrava [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/PRA/zaklady_frezovani.pdf
- [14] MIKULOVÁ, Michaela. *Frézovací stroje současné produkce* [online]. Brno, 2009, 34 s. [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16447. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [15] LEINVEBER, J., VÁVRA, P., *Strojnické tabulky*. 4. vydání. Praha : Albra, 2008 ISBN 978-80-7361-051-7
- [16] Metal cutting technologies: Historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/neuslechtile-uhlikovekonstrukcni-oceli-tridy-11-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [17] BRAVENEC, Pavel. *Příprava výukového stendu pro brzdění motoru* [online]. Ostrava, 2011, 36 s. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.fmml.vsb.cz/export/sites/fmml/akreditace/cs/prodlouzeni->

materialy-a-technologie-pro-automobilovy-prumysl/Priprava-vyukoveho-stendu-pro-brzdeni-motoru/Bc_prace.pdf VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Radim Trojan, Ph.D.

[18] JCEE s.r.o.: Obráběcí centra. *JCEE s.r.o. Vývoj a výroba jednoúčelových strojů* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.jcee.cz/nase-cinnost/obrobna/obrabeci-centra>

[19] HURCO: *mind over metal* [online]. 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.hurco.cz/red/dialogove-%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-winmax-1159.asp>

[20] HURCO: *mind over metal* [online]. 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.hurco.cz/red/mind-over-metal-702.asp>

[21] M&V: *Vyměnitelná břitová destička, PRAMET, HNGX 0906ANSN-M ;8215* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/data/upload/files/35112-hngx.pdf>

[22] KORLOY: *KORLOY CUTTING TOOLS* [online]. 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: [https://www.kovoobrabeci-nastroje.cz/tmp/userfiles/files/KORLOY_CUTTING_TOOLS_2013\(Metric\).pdf](https://www.kovoobrabeci-nastroje.cz/tmp/userfiles/files/KORLOY_CUTTING_TOOLS_2013(Metric).pdf)

[23] M&V: *Vyměnitelná břitová destička, PRAMET, ZDEW 120408 ;7205* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/data/pramet2/files/zdew.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sídlo firmy JCEE s.r.o. [1]	9
Obrázek 2 - Pohyby při soustružení [7]	12
Obrázek 3 - Pohyby při frézování [7]	12
Obrázek 4 - Pohyby při vrtání [7]	13
Obrázek 5 - Pohyby při broušení [7]	13
Obrázek 6 - Pohyby při hoblování a obrážení [7]	14
Obrázek 7 - Původní frézy [8]	15
Obrázek 8 - Frézka z roku 1818 [8]	16
Obrázek 9 - Univerzální frézka z roku 1862 [8]	17
Obrázek 10 - Frézka z roku 1900 [8]	17
Obrázek 11 - Sousledné frézování [9]	19
Obrázek 12 - Nesousledné frézování [9]	19
Obrázek 13 - Souměrné a nesouměrné čelní frézování [9]	20
Obrázek 14 - Symetrické frézování [6]	20
Obrázek 15 - Nesymetrické frézování [6]	21
Obrázek 16 - Okružní frézování [6]	21
Obrázek 17 - Planetové frézování [6]	22
Obrázek 18 - Rozdělení fréz podle umístění břitů [11]	22
Obrázek 19 - Frézované a pod soustružené zuby [12]	23
Obrázek 20 - Fréza s břity ve šroubovici [6] Obrázek 21 - Fréza s břity přímými [6]	23
Obrázek 22 - Frézy na různé druhy operací [6]	25
Obrázek 23 - Konzolová vodorovná frézka [6]	26
Obrázek 24 - Konzolová svislá frézka [6]	26
Obrázek 25 - Stolová frézka [6]	27
Obrázek 26 - Rovinná frézka [6]	27
Obrázek 27 - CNC HURCO VMX50	30
Obrázek 28 - Frézovací hlava, VBD Pramet Obrázek 29 - Povrch po fréze č. 1	31
Obrázek 30 - VBD č. 1	31
Obrázek 31 - Frézovací hlava, VBD Korloy Obrázek 32 - Povrch po fréze č. 2	32
Obrázek 33 - VBD č. 2	32
Obrázek 34 - Frézovací hlava, VBD Pramet Obrázek 35 - Povrch po fréze č. 3	33
Obrázek 36 - VBD č. 3	33
Obrázek 37 - Parametr Ra [6]	34
Obrázek 38 - Drsnoměr Mitutoyo surfest 211	34
Obrázek 39 - Celkový pohled na výsledky	35
Obrázek 40 - Vyhodnocení povrchu	36

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 - Chemické složení oceli 11 373 [17]</i>	29
<i>Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti oceli 11 373 [15]</i>	29
<i>Tabulka 3 - Technické údaje CNC stroje HURCO VMX 50 [18]</i>	30
<i>Tabulka 4 - Parametry frézy č. 1</i>	31
<i>Tabulka 5 - Parametry frézy č. 2</i>	32
<i>Tabulka 6 - Parametry frézy č. 3</i>	33
<i>Tabulka 7 - Výsledky testování</i>	35
<i>Tabulka 8 - Vyhodnocení</i>	36

Seznam grafů

<i>Graf 1 - Grafické vyhodnocení testování</i>	37
--	----

Seznam příloh

<i>Příloha A – Tabulka naměřených hodnot a grafické znázornění</i>	<i>1</i>
--	----------